

مروری بر سیستم‌های تولید هوشمند و روندهای آینده

■ سید قاسم سلیمی زاویه

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱ و تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۶

صفحات: ۲۴-۱۳

چکیده

تولید هوشمند، چهارمین انقلاب در صنعت تولید است. تولید هوشمند به دنبال ادغام روش‌های پیشرفته تولید، فناوری‌های عملیاتی (OT) و فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT) برای ایجاد سیستم‌های تولیدی با قابلیت‌های بیشتر در کنترل هزینه و عملکرد است. تمایز اساسی سیستم‌های تولید هوشمند در معماری آنها نهفته است که به عنوان شبکه‌هایی از مولفه‌های تولید مشترک برای کارکردهای مختلف سازماندهی شده‌اند. در حال حاضر، برخی از برنامه‌های سیستم‌های تولید هوشمند در زمینه‌های مختلف صنعتی وجود دارد. با این وجود، هنوز یک تعریف یکپارچه از سیستم‌های تولید هوشمند و تحلیل یکپارچه از الزامات وجود ندارد. هدف از این مقاله جمع‌آوری، ساختار و ویژگی‌های مختلف راجع به سیستم تولید هوشمند است. محققان در گذشته خصوصیات و فناوری‌های مختلف سیستم تولید هوشمند را شناسایی کرده‌اند. این مقاله برخی از این خصوصیات را جمع‌آوری و با توجه به فن‌آوری‌های موجود در دانش فعلی راجع به سیستم تولید هوشمند بحث و تبادل نظر می‌کند. انتظار می‌رود در آینده این مجموعه از خصوصیات و فناوری‌های سیستم تولید هوشمند به مقایسه و تمایز ابتکارات دیگر مانند صنعت ۴.۰، کارخانه هوشمند، تولید هوشمند، تولید، توزیع و غیره کمک کند. نویسنده امیدوار است که مبنایی برای یک بحث گسترده و بین رشته‌ای در سیستم تولید هوشمند در مورد فن‌آوری‌های تعریف شده و ویژگی‌های سیستم تولید هوشمند فراهم کند.

واژگان کلیدی: تولید هوشمند، ویژگی‌ها و فناوری‌های هوشمند، سیستم‌های تولید هوشمند، چشم‌انداز آینده.

عهده دار مکاتبات

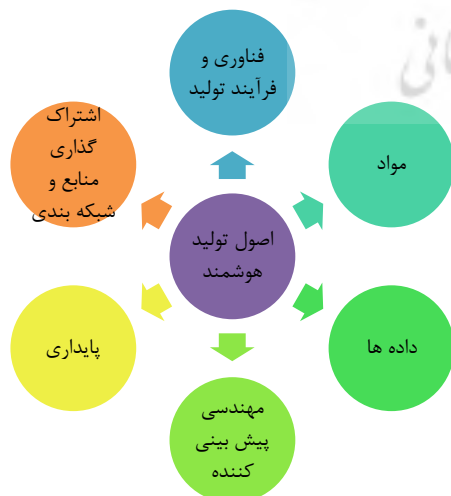
آدرس پست الکترونیکی: Sg.salimi@gmail.com

۱- مقدمه

سیستم سایبری- فیزیکی، محاسبات و تولید ابری و غیره. این فناوری‌ها به‌عنوان فناوری‌های پیشرفته ICT توسعه داده شده است و در زمینه‌های مختلفی از قبیل تولید، بهداشت، مدیریت ساختمان و غیره کاربرد دارد. تولید هوشمند می‌تواند با موفقیت و از طریق توسعه متوازن و استفاده از آن فناوری‌های مهم کلیدی تحقق یابد [۵]. برای این منظور، باید با تجزیه و تحلیل وضعیت تحقیق و توسعه از مفهوم کل، سطح فعلی بررسی شود؛ در حالی که هر فناوری باید براساس چشم‌انداز تحقق موفقیت‌آمیز سیستم تولید هوشمند و همچنین جهت‌گیری‌های آینده در جنبه‌های توسعه فناوری و راهبردهای کاربردی پیشنهاد شود. در این مقاله با بررسی مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، فناوری‌ها و مقالات مرتبط با آن، سطح گذشته و حال سیستم‌های تولید هوشمند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس جهت‌های توسعه فناوری آینده پیشنهاد شده است. مسیرهای تحقیق آینده در مورد فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های تولید هوشمند پس از تحلیل روندهای فعلی پیشنهاد شده است. این مقاله متمرکز بر ویژگی‌ها و فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند است.

۲- سیستم‌های تولید هوشمند

انقلاب صنعتی چهارم مرحله جدیدی برای سیستم‌های تولیدی به‌ویژه سیستم‌های تولید هوشمند است که می‌تواند به سرعت به رقابت‌های جهانی و الزامات سفارشی‌سازی پاسخ دهد. در مطالعه‌ای راهبردی برخی از کشورها مانند کره که "نوآوری در تولید ۳,۰"، آلمان "صنعت ۴,۰" و "تولید هوشمند" در ایالات متحده مدنظر قرار گرفته است [۵]. کوسیاک^۱ شش اصل سیستم‌های تولید هوشمند را ارائه داد که در شکل شماره ۱ نشان داده شده است [۶].



شکل ۱: اصول تولید هوشمند [۶]

تولید هوشمند (SM) در سال‌های اخیر از پیشرفت چشمگیری در صنعت و دانشگاه برخوردار بوده است. تولید هوشمند مجموعه‌ای از شیوه‌هایی است که از داده‌های شبکه‌ای و فناوری اطلاعات [۱ و ۲] برای معماری سیستم‌های تولید آینده استفاده می‌کند. بسیاری از سیستم‌های تولیدی خود را به‌عنوان سیستم‌های تولید هوشمند معرفی می‌کنند. با این وجود، هنوز درک کاملی وجود ندارد که یک سیستم تولید "هوشمند" را توصیف کند. چه جنبه‌هایی باعث می‌شود که یک سیستم تولید هوشمند شود؟ ادبیات پیشنهاد می‌کند که این جنبه‌ها را در قالب ویژگی‌ها و فناوری‌های سیستم تولید هوشمند در نظر بگیریم. تولید هوشمند شامل طیف گسترده‌ای از سیستم‌ها در یک سیستم تولیدی از جمله تولید، مدیریت، طراحی و عملکردهای مهندسی است. مجموعه اجزای سخت افزاری، مولفه‌های نرم‌افزاری مربوط به آنها و برنامه‌های حمایتی که یک شرکت تولیدی را تشکیل می‌دهد، همان چیزی است که ما آن را اکوسیستم تولید هوشمند می‌نامیم [۳ و ۴].

در حال حاضر، پیشرفت‌های فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات بارها و بارها در زمینه‌های مختلف از جمله سخت‌افزار و نرم‌افزار پیشرفت کرده و ممکن است یک رنسانس یا یک انقلاب جدید را برای صنعت تولید به ارمغان آورد. تولید هوشمند ممکن است نیروی محرکه این انقلاب جدید باشد. تولید هوشمند یک موتور رشد آینده است که با هدف مدیریت رشد و بهبود عوامل اصلی تولید از قبیل بهره‌وری، کیفیت، تحویل و انعطاف پذیری، رشد پایدار را براساس همگرایی فناوری و عناصر مختلف در جوامع، انسان‌ها و محیط زیست در نظر دارد.

موسسه ملی استاندارد و فناوری (NIST)، که نمایندگی وزارت بازرگانی ایالات متحده است، تولید هوشمند را به‌عنوان "سیستم‌های تولید کاملاً یکپارچه و مشارکتی" تعریف می‌کند که در زمان واقعی پاسخ می‌دهد تا پاسخگوی خواسته‌ها و شرایط در حال تغییر شبکه و نیازهای مشتری در کارخانه باشد. به‌عبارت‌دیگر، این بدان معنی است که فناوری‌ها و سیستم‌های مبتنی بر تولید که می‌تواند به‌موقع پیچیده و متنوع بودن در حوزه تولید را پاسخ دهد در زمان واقعی است. کشورهای پیشرفته تولیدی مانند آلمان و ایالات متحده آمریکا، در چند سال گذشته در زمینه‌های مختلف فناوری‌هایی را برای تحقق تولید هوشمند تولید کرده‌اند. فناوری‌های اصلی عبارتند از اینترنت اشیا

1 Kusiak

توسط ژنگ و همکاران ارائه شده است. با استفاده از سنسورها و فناوری‌های ارتباطی برای گرفتن داده در تمام مراحل تولید، سیستم‌های تولید هوشمند می‌شود که میزان تولید افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که خطاها و ضایعات تولید کاهش پیدا می‌کند.

تعریف ۳: از دیدگاه تحلیل پیش‌بینی و تصمیم‌گیری، داده‌های قابل دسترسی و همه‌گیرتر، محیط داده‌های بزرگ را تشکیل می‌دهد و به شرکت‌های تولیدی کمک می‌کند تا پیش‌بینی بهتری داشته باشد، تولید را متعادل کند و کارایی و بهره‌وری آنها را بهبود ببخشد. سیستم تولید هوشمند مبتنی بر داده‌های بزرگ، برنامه‌ریزی و کنترل عملیات تولید از جمله منبع پیش‌بینی، تولید پیش‌بینی، تشخیص خطا، استفاده از دارایی و ارزیابی ریسک و غیره را بهینه می‌کند [۹].

تکامل سیستم تولید هوشمند نه تنها مربوط به توسعه فناوری است؛ بلکه به نیازهای پویای ذی‌نفعان و مدل کسب‌وکار نوآورانه نیز مربوط می‌شود. سیستم‌های تولید هوشمند داده‌هایی را در زمان واقعی دریافت می‌کند که صحت تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد، کارایی و عملکرد را افزایش می‌دهد و بهره‌وری کلی را افزایش می‌دهد. تکامل سیستم تولید هوشمند در جدول شماره ۱ بیان شده است. البته، بسیاری از پارادایم‌های تولیدی دیگر (تولید دیجیتال، تولید شبکه، تولید ناب، تولید چابک و غیره) در نقشه راه تکامل سیستم تولید وجود دارد. در این مقاله بیشتر بر روی سیستم تولید هوشمند تمرکز شده است [۱۰ و ۱۱].

جدول ۱: تکامل سیستم‌های تولید هوشمند [۱۰ و ۱۱]

سال تکامل	مدل کسب-وکار	توانمند سازی فناوری	پارادایم‌های تولید
۱۹۷۰	سفارشی سازی انبوه	فناوری رایانه، فناوری اطلاعات	تولید یکپارچه رایانه ای
۱۹۷۰-۱۹۹۰	شخصی سازی	فناوری رایانه، تفکر ناب و هوش مصنوعی (۱)	سیستم تولید هوشمند
۱۹۹۰-۲۰۱۰	پایداری و مشارکت مشتری	سیستم سایبری فیزیکی، کلان داده، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی ۲، بلاک چین	سیستم تولید هوشمند

۴- فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های تولید هوشمند

محققان مختلف ویژگی‌ها و فناوری‌های مختلف مرتبط با سیستم تولید هوشمند را شناسایی کرده‌اند. بسته به کاربرد تولید هوشمند، ممکن است به مجموعه متفاوتی از ویژگی‌ها و فناوری‌ها نیاز باشد. بنابراین، کافی است یک سیستم تولید

تلاش‌های گسترده‌ای برای ایجاد تولید هوشمند همچنان ادامه دارد.. شواهد قوی ثابت کرده است که سیستم‌های تولید هوشمند بسیار خودمختار شده است. این تغییرات به آرامی به واقعیت تبدیل می‌شود و به شرح زیر است [۷].

- فناوری اطلاعات و ارتباطات پیشرفته مانند هوش شناختی، هوش swarm و محاسبات ابری برای ادغام، سازماندهی و تخصیص منابع استفاده می‌شود؛
- توجه روزافزون به مفاهیمی مانند خودتنظیمی در خودساماندهی چند عامل برای کنترل تولیدی سازگار و هوشمند و ظهور ارزش خودساماندهی در مدل زنجیره‌ای صنعت تولید هوشمند برای انتخاب یک راهبرد برتر؛
- اهمیت روزافزون بهبود مستمر، فرآیندهای خودبهینه‌سازی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده؛
- آگاهی از وضعیت پیش‌بینی‌کننده، نظارت بر فرایند آماری، مدیریت بهداشت، نگهداری و وضعیت پیش‌بینی تولید باعث افزایش قابلیت اطمینان و صحت عملکرد سیستم تولید هوشمند می‌شود [۷].

۳- تکامل سیستم‌های تولید هوشمند

با توجه به اهمیت مفاهیم اساسی تولید هوشمند، یک سیستم تولید هوشمند برای فراهم آوردن مبنای تحقیقات بیشتر در مورد الزامات، هدف، مولفه‌ها، چالش‌های تحقیق و چشم‌انداز آینده حائز اهمیت است. از طریق بررسی تحقیق گذشته، تعریف تولید هوشمند از منظر مهندسی، اتصال هوشمند، اینترنت اشیا، سیستم سایبری - فیزیکی، کلان داده، هوش مصنوعی و تولید ابری بررسی شده است.

تعریف ۱: از دیدگاه مهندسی، تولید هوشمند یک کاربرد فشرده از سیستم‌های اطلاعاتی پیشرفته است که امکان تولید سریع محصولات جدید، پاسخ پویا به تقاضای محصول و بهینه‌سازی زمان واقعی شبکه‌های تولید و زنجیره تامین را فراهم می‌آورد. در همین حال، سیستم تولید هوشمند، سیستم عامل‌های جدیدی است که کارخانه‌ها، مراکز توزیع، شرکت‌ها و کل زنجیره‌های تامین در محیط‌های اقتصادی غنی از دانش، عملیات و سیستم‌های تجاری کار می‌کند. در سیستم‌های تولید هوشمند تمام جنبه‌های تولید به یکدیگر متصل می‌شود؛ لذا مواد اولیه را به محصولات هوشمند نهایی و به مشتری متصل می‌کند [۸].

تعریف ۲: از نمای اتصال و ارتباطات اینترنت اشیا و سیستم فیزیکی سایبری سیستم تولید هوشمند مربوط به صنعت ۴,۰

جدول ۳: لیست فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند [۱۵، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۳]

خوشه‌بندی	ویژگی‌های فناوری مرتبط با تولید هوشمند	ردیف
کنترل هوشمند	هوشمند بودن	۱
کنترل هوشمند	کنترل هوشمند	۲
راندمان انرژی	راندمان انرژی و بهره‌وری انرژی	۳
امنیت سایبری	امنیت سایبری	۴
فناوری مجازی	هولوگرام داشتن	۵
فناوری مجازی	واقعیت مجازی	۶
فناوری مجازی	واقعیت افزوده	۷
تولید ابری	ارتباط در زمان واقعی داشتن	۸
تجزیه و تحلیل داده‌ها	کلان داده	۹
سیستم فیزیکی سایبری	زیرساخت فیزیکی سایبری	۱۰
سیستم فیزیکی سایبری	سیستم فیزیکی سایبری	۱۱
اینترنت اشیا	اینترنت اشیا	۱۲
تولید هوشمند	تولید پیشرفته	۱۳
تولید ابری	تولید ابری	۱۴
محصول هوشمند	چاپ سه بعدی	۱۵
محصول هوشمند	ردیابی	۱۶
محصول هوشمند	سنسورهای هوشمند	۱۷
محصول هوشمند	محصول هوشمند	۱۸
تجزیه و تحلیل داده‌ها	تجزیه و تحلیل پیش‌بینی	۱۹
تجزیه و تحلیل داده‌ها	تجسم داده‌ها	۲۰
تکنولوژی مجازی	مدل‌سازی	۲۱
کنترل هوشمند	GIS	۲۲
کنترل هوشمند	شبیه‌سازی	۲۳
تجزیه و تحلیل داده‌ها	پیش‌بینی	۲۴
کنترل هوشمند	ERP	۲۵
کنترل هوشمند	RFID	۲۶
تولید هوشمند	یادگیری ماشین	۲۷
کنترل هوشمند	مدیریت زنجیره تامین	۲۸
کنترل هوشمند	MES	۲۹
کنترل هوشمند	PLM	۳۰
محصول هوشمند	مواد هوشمند	۳۱
محصول هوشمند	روابط هوشمند	۳۲
کنترل هوشمند	DCOR ، SCOR	۳۳
کنترل هوشمند	CAD ، CAM	۳۴
تولید هوشمند	برنامه‌ریزی عملیات	۳۵
تولید هوشمند	مدیریت تولید مبتنی بر فناوری	۳۶
تولید هوشمند	تکنیک تصمیم‌گیری دانش	۳۷
کنترل هوشمند	SPC	۳۸

هوشمند را تعریف کنید. در جدول شماره ۲ و ۳ به ترتیب مشخصات یک سیستم تولید هوشمند و فناوری‌های مرتبط با سیستم‌های تولید هوشمند ذکر شده است.

جدول ۲: لیست مشخصات مرتبط با سیستم تولید هوشمند [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰]

خوشه‌بندی	ویژگی‌های مرتبط با تولید هوشمند	ردیف
آگاهی از متن	حضور دیجیتال	۱
مدولار بودن	مدولار بودن	۲
ناهمگن بودن	ناهمگن بودن	۳
کنترل هوشمند	مقیاس پذیر بودن	۴
آگاهی از متن	آگاهی از متن	۵
کنترل هوشمند	استقلال	۶
کنترل هوشمند	سازگاری	۷
کنترل هوشمند	استحکام	۸
کنترل هوشمند	انعطاف پذیری	۹
کنترل هوشمند	کاملاً خودکار	۱۰
آگاهی از متن	دارای خودآگاهی	۱۱
قابلیت همکاری	قابلیت همکاری	۱۲
قابلیت همکاری	قابلیت شبکه	۱۳
قابلیت همکاری	مناسب بودن اطلاعات	۱۴
قابلیت همکاری	یکپارچگی	۱۵
راندمان انرژی	پایداری	۱۶
کنترل هوشمند	ترکیب	۱۷
کنترل هوشمند	عملی بودن	۱۸
کنترل هوشمند	چابکی	۱۹
کنترل هوشمند	پاسخ‌گویی	۲۰
کنترل هوشمند	دقت	۲۱
کنترل هوشمند	قابلیت استفاده مجدد	۲۲
قابلیت همکاری	غیرمتمرکز بودن	۲۳
قابلیت همکاری	توزیع	۲۴
کنترل هوشمند	تاب آوری	۲۵

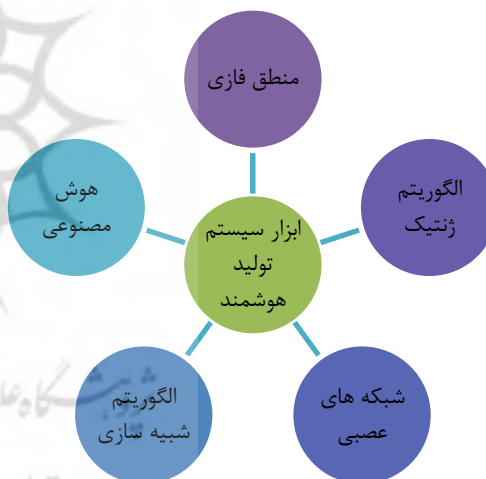
ویژگی‌ها و فناوری‌های ارائه شده در ادبیات فعلی سیستم‌های تولید هوشمند ذکر و توصیف شده است. با این حال، تعاریف دقیق این ویژگی‌ها و فناوری‌ها حاکی از آن است که برخی از آنها ممکن است مترادف یکدیگر باشند و برخی از آنها ممکن است برای ارائه نتیجه متمرکزتر ادغام شوند. در ادامه فناوری‌هایی که در گذشته مشخص شده (جدول شماره ۳) مورد بررسی قرار می‌گیرد و خوشه‌بندی برای تهیه لیست جامع‌تر و هدفمند ارائه شده است.

۵- اجزا و ابزارهای سیستم تولید هوشمند

با توجه به مطالعات انجام شده، اجزا و ابزارهای یک سیستم تولید هوشمند در شکل شماره ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲: اجزای یک سیستم تولید هوشمند [۳۴]



شکل ۳: ابزار سیستم تولید هوشمند [۳۴]

صورت بگیرد، به صورت موفقیت آمیز توسط کوسپاک (۲۰۱۷) مطرح شده است. تولید هوشمند در حال تکامل است و مولفه های آن هر ساله تغییر می کند. برخی ویژگی های تولید هوشمند در آینده که در واقع اساس آینده تولید هوشمند محسوب می شوند، در جدول شماره ۴ مطرح شده است. برخی از آنها ممکن است محتمل تر به نظر برسد یا حتی با گذشت زمان رد شود؛ در حالی که حدس و گمان های جدیدی ممکن است شکل بگیرد. اینها می توانند درک ما از مسائل محوری تولید نیز روندها و تغییرات موثر روی تولید هوشمند را تحت تاثیر قرار دهند [۳۵].

جدول ۴: آینده نگری برای تولید هوشمند [۳۵ و ۳۶]

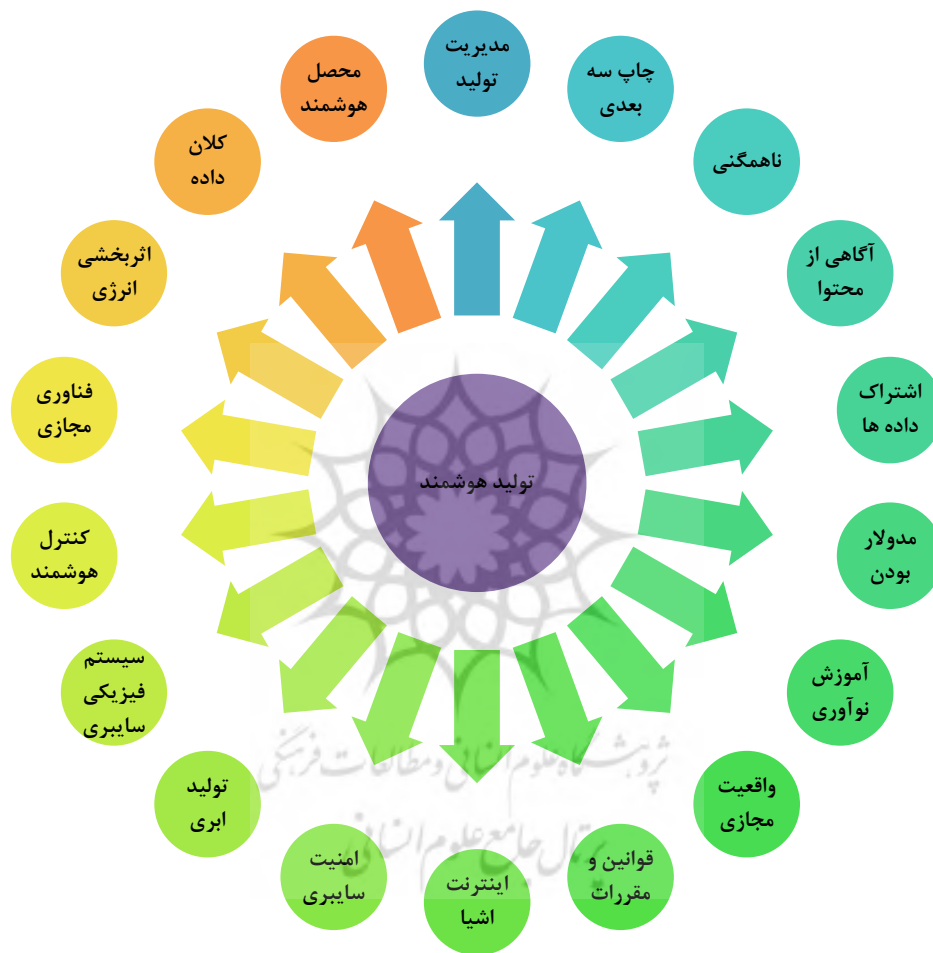
ردیف	آینده نگری برای تولید هوشمند
۱	دیجیتالی سازی تولید
۲	افزایش اتکا به مدل سازی، بهینه سازی و شبیه سازی
۳	پدیده های مواد محصول فرآیند
۴	جداسازی عمودی دارایی های فیزیکی و فضای سایبری
۵	دوگانگی ساختاری
۶	ارتباط پذیری و عملیاتی سازی درونی افقی تر
۷	اشتراک گذاری منبع
۸	کنترل، تشخیص و تامین خودکار تجهیزات
۹	استانداردسازی و همکاری
۱۰	امنیت و ایمنی فضای سایبری

۷- بازنمایی بصری سیستم تولید هوشمند

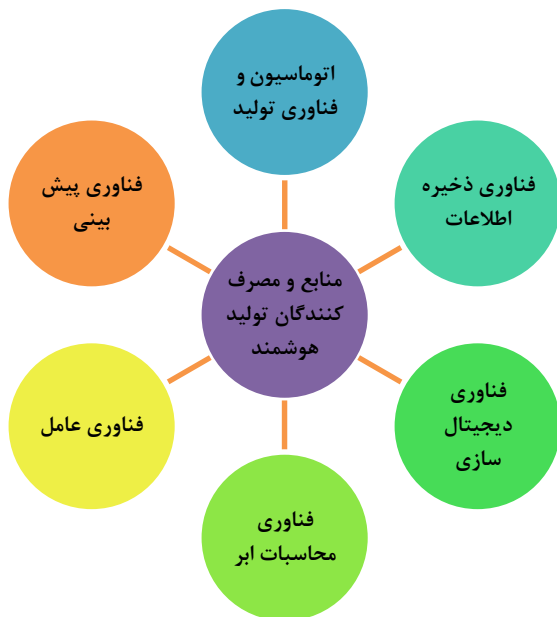
تولید هوشمند: ترکیب قابلیت های پیشرفته تولید و فناوری های دیجیتال برای تولید محصولات بسیار قابل تنظیم سریع تر، ارزان تر، بهتر و سبزتر است. هدف اصلی تولید هوشمند محرک های نوآوری و کاهش ریسک های انطباق پذیری فناوری های تولید هوشمند از طریق علم و معیارهای اندازه گیری است. در شکل شماره ۴ بازنمایی بصری از ویژگی ها و فناوری های سیستم تولید هوشمند نشان داده شده است.

۶- آینده نگاری سیستم تولید هوشمند

تولید هوشمند فرصت ها و چالش های مختلفی را ایجاد می کند. بزرگترین چالش می تواند پذیرش واقعیت تولید و تغییر آن باشد. یک موج جدید از اتوماسیون یا خودکارسازی کارخانه ها در نسل های قبل با روبات های کم هزینه مطرح شد. تغییر و تحمل تولید در شرایط امروزی نشان دهنده پیشرفت های احتمالی آینده است. دیگر هیچ شرکتی به تنهایی نمی تواند در انجام همه تکالیف خود مستقل عمل کند، آن هم به دلیل عدم قطعیت در بازار و فناوری. اقدامات مختلفی که باید برای تولید هوشمند

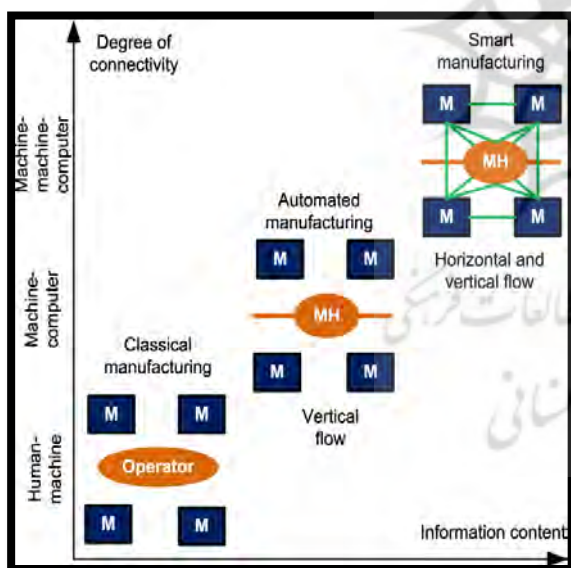


شکل ۴: بازنمایی بصری سیستم تولید هوشمند [۳۷]



شکل ۵: فناوری مرتبط با سیستم تولید هوشمند [۳۸]

در شکل شماره ۶ تکامل تولید نشان داده شده است که سیستم تولید هوشمند نیز جزئی از شبکه تکامل است [۳۸ و ۳۹].



شکل ۶: تکامل سیستم تولید [۳۸ و ۳۹]

۹- تولید هوشمند داده محور

پیشرفت‌های فناوری اینترنت، اینترنت اشیا، رایانش ابری، داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی تاثیر بسیاری بر تولید گذاشته است. حجم داده‌های جمع‌آوری شده در تولیدات در حال رشد است. داده‌های بزرگ فرصتی خارق‌العاده را برای تبدیل پارادایم تولید امروز به تولید هوشمند فراهم می‌کند. داده‌های بزرگ

۸- فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند

تولیدی در حال تحول است که از پیشرفت در تولید و فناوری هوش مصنوعی پشتیبانی نماید. بیشتر بحث در مورد سیستم‌های تولیدی، حول اصطلاحاتی مانند داده‌های بزرگ و تولید دیجیتال متمرکز است. بخش عمده‌ای از پیشرفت‌های تولید هوشمند با داده‌ها شرط‌بندی شده است، بنابراین ارزیابی منابع اصلی و میزان استفاده از داده‌ها در بین فناوری‌های آن مورد نیاز است. شکل شماره ۵ شش فناوری مهم برای سیستم‌های تولید هوشمند را نشان می‌دهد. جزئیات این فناوری‌ها در ادبیات مورد بحث قرار گرفته است. نمونه‌هایی از ماهیت داده‌ها، نوع داده‌ها و حجم داده‌ها در سراسر برنامه‌های کاربردی داده تحت پوشش شش فناوری در ادامه آورده شده است [۳۸].

اتوماسیون و فناوری تولید

ماهیت داده‌ها: وضعیت تجهیزات، وضعیت تولید

نوع داده: عددی، نمادین

حجم داده: متوسط

فناوری ذخیره اطلاعات

ماهیت داده‌ها: وضعیت و تاریخ تجهیزات تولید

نوع داده: عددی، نمادین، سری زمانی، متن

حجم داده: بسیار بزرگ

فناوری دیجیتال سازی

ماهیت داده‌ها: ویژگی‌های مصنوع، وضعیت

نوع داده: عددی، نمادین، متن

حجم داده: بزرگ

فناوری محاسبات ابر

ماهیت داده: داده‌های as-is، داده‌های تبدیل شده،

داده‌های یکپارچه، مدل‌ها، الگوریتم‌ها

نوع داده: داده بالقوه از انواع مشخص توسط طراحی ابر

حجم داده: بسیار بزرگ

فناوری عامل

ماهیت داده‌ها: برنامه خاص

نوع داده: برنامه خاص

حجم داده: کم است

فناوری پیش بینی

ماهیت داده‌ها: برنامه خاص

نوع داده‌ها: سریال‌های عددی، دسته‌ای

حجم داده: متوسط

در شکل شماره ۵ این شش فناوری نشان داده شده است

۱۱- تقسیم‌بندی دیگری سیستم تولید هوشمند

در تقسیم‌بندی دیگری از سیستم تولید هوشمند اجزا و فناوری‌های مرتبط با سیستم تولید هوشمند ارائه شده است.

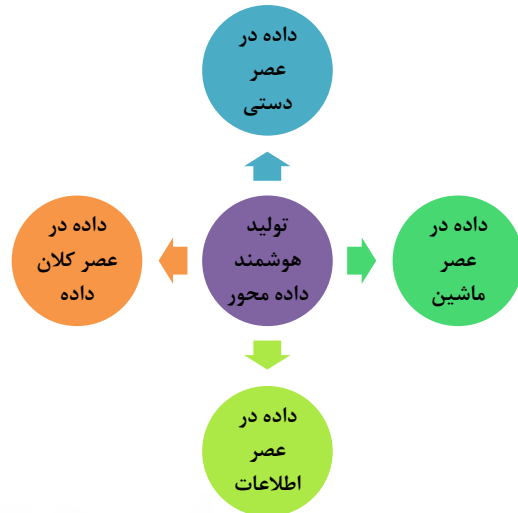


شکل ۸: سیستم تولید هوشمند [۴۰]

۱۲- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در واقع، در تولید هوشمند این قابلیت وجود خواهد داشت تا محصولات هوشمند قادر به خودتصلایی و برقراری ارتباط با کمک اینترنت و سنسورها در فرایند تولید باشند. یکی از مهم‌ترین مزایای تولید هوشمند و استفاده از فناوری‌های دیجیتال و ارتباطی در فرایند تولید، قابلیت تصمیم‌گیری پویا و بهنگام هم در سطوح عالی سازمانی و هم در سطوح عملیاتی کف کارگاه است و تحلیل بلادرنگ داده‌های تولید، موجودی، حمل و نقل، فروش، ماشین‌آلات، پرسنل و ... نقشی کلیدی در تصمیم‌گیری‌ها ایفا می‌نماید. در واقع، با تولید هوشمند قدم بزرگی در تحقق تولید پایدار و در نهایت زنجیره تامین پایدار برداشته خواهد شد. کارخانه هوشمند صنعت ۴.۰ با بهره‌گیری از فناوری‌های نوظهور قابلیت اجرایی شدن دارد و تاثیر بسیاری بر صنعت تولید داشته و همچنین زنجیره‌های تامین را از نظر پایداری توسعه خواهد داد. اما هم‌اکنون به نظر می‌رسد، صنعت با استفاده از فناوری‌های موجود و ارتقای پیشرفت‌ها و نیز به پشتوانه فناوری‌های نوین فنی در مسیر درستی قدم بگذارد. کارخانه هوشمند و انقلاب صنعتی چهارم ارتباطی و کامپیوتری با روش پیشرفته‌ای همراه با پیشرفت‌های فنی، بدون توقف به اجرا درآید.

شرکت‌ها را قادر می‌سازد راهبردهای مبتنی بر داده‌ها را برای رقابت بیشتر رقم بزنند. داده‌ها در سیستم تولید هوشمند مبتنی بر داده محور چهار مرحله تکامل مهم را طی می‌کند که در شکل شماره ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: تولید هوشمند داده محور [۴۰]

۱۰- مدل‌های معماری مرجع در تولید هوشمند

برای در نظر گرفتن مدل یکپارچه که می‌تواند الزامات مربوط به تولید هوشمند را برآورده سازد، منابع و مقالات مرتبط در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: مدل‌های معماری مرجع تولید هوشمند [۴۱]

ردیف	سازمان که مدل مرجع را برای تولید هوشمند به کار برده است	نام مدل مرجع
۱	Industrie4.0	مدل معماری مرجع انقلاب صنعتی ۴
۲	NIST	اکوسیستم تولید هوشمند
۳	Industrial Internet Consortium	معماری مرجع اینترنت صنعتی
۴	National Intelligent Standardization Manufacturing Administration Group of China	معماری سیستم تولید هوشمند
۵	ISO/IEC JTC1/WG10	معماری مرجع
۶	IEEE P2413	مدل مرجع
۷	ITU-T SG20	مدل مرجع اینترنت اشیا
۸	oneM2M	مدل مرجع معماری
۹	ISO TC184	نمودار تصویری سه بعدی بزرگ
۱۰	Alliance Industrie du Futur	چارچوبی برای چشم انداز استانداردهای تولید هوشمند
۱۱	Industrial Value Chain Initiative	معماری مرجع زنجیره ارزش صنعتی

فناوری سیستم‌های تولید هوشمند و تولید هوشمند داده محور را ارائه می‌دهد.

از طریق بررسی این مقاله، می‌توان مرجع تحول بیشتر بنگاه‌های تولیدی را از مشاغل سنتی به روشنفکران ارائه داد. پیشنهاد می‌شود از آنجا که آموزش مهندسی با پیشرفت‌های فناوری در تولید هوشمند همگام نیست، برنامه درسی به‌روز شود تا به مهندسان با دانش و مهارت‌های مرتبط برای پیاده‌سازی سیستم تولید هوشمند آموزش داده شود. برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود چالش‌های اجرایی شدن کارخانه هوشمند در داخل کشور با توجه به فناوری‌هایی که هم‌کنون در دسترس است، مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. همچنین اثرات بلندمدت سیستم تولید هوشمند در اقتصاد و محیط زیست ایران نیز می‌تواند حوزه‌های پژوهشی مفیدی برای جامعه علمی کشور باشد و بررسی شود که با استفاده از مفاهیم هوشمندی در صنعت، اثرات پایداری تا چه حدودی قابل گسترش خواهد بود. در راستای تحقیقات آتی می‌توان موضوعات ذیل را برای تحقیقات بیشتر استفاده نمود:

- ❖ بررسی سیستم تولید هوشمند بر پایه سیستم فیزیکی سایبری؛
- ❖ بررسی امنیت سیستم تولید هوشمند؛
- ❖ بررسی نقش یادگیری عمیق در سیستم تولید هوشمند؛
- ❖ بررسی موانع و محرک‌های سیستم تولید هوشمند؛
- ❖ بررسی نقش تولید دیجیتال در سیستم تولید هوشمند؛
- ❖ بررسی استانداردهای سیستم تولید هوشمند؛
- ❖ بررسی کلان داده در سیستم تولید هوشمند؛
- ❖ بررسی پلتفرم‌هایی برای بهبود برنامه‌ریزی در سیستم‌های تولید هوشمند؛
- ❖ توسعه تولید ابری و اینترنت اشیا در سیستم‌های تولید هوشمند؛
- ❖ طراحی اکوسیستم باز برای سیستم‌های تولید هوشمند.

پیشرفت اصلی در فناوری در عرصه یکپارچگی کامل فناوری ارتباطات و اطلاعات با سیستم‌های تولید هوشمند مدرن است. در نتیجه، فناوری‌های پیشرفته اینترنت اشیا و سیستم فیزیکی سایبری، همراه با رایانش ابری و داده‌های بزرگ نقش قابل تاملی را در چرخش به سمت الگوواره تولید هوشمند جدید ایفا می‌کند. پلتفرم‌های صنعتی در اجرای اکوسیستم تولید هوشمند جدید در حال توسعه است. منافع انقلاب صنعتی چهارم با این پیشرفت‌ها در ساخت، صورت خارجی به خود می‌گیرد و اثبات می‌شود. انقلاب صنعتی جدیدی در حال وقوع است که به پیشرفت‌ها و احیای تولید منجر می‌شود. بخش‌های خصوصی و دولتی در بسیاری از کشورها برای ارتقای پایگاه تولید و بهبود سهام بازار همراه هم کار می‌کنند. تولید در حال تحول است که از پیشرفت در تولید و فناوری هوش مصنوعی پشتیبانی کند. بیشتر بحث در مورد سیستم‌های تولیدی حول اصطلاحاتی مانند داده‌های بزرگ و تولید دیجیتال متمرکز است. صنعت ۴,۰ یا تولید هوشمند همان چهارمین انقلاب صنعتی است. این یک الگوی جدید و همگرایی فناوری‌های پیشرفته ICT و فناوری تولید است. این امر زمینه تصمیم‌گیری‌های موثر و بهینه را از طریق فرآیندهای تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر فراهم می‌کند. برای تحقق تولید هوشمند، فناوری‌های پیشرفته در زمینه‌های مختلف، اعم از سیستم فیزیکی سایبری، تولید ابری، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا و سنسورهای هوشمند گرفته تا تولید افزودنی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هولوگرام، توسعه داده می‌شود. مزایای تولید هوشمند شامل بهبود بهره‌وری، صرفه‌جویی در هزینه، سفارشی‌سازی محصولات به بازارها، بهره‌وری منابع و کاهش اثرات منفی محیط زیست تولید است. تحقق تولید هوشمند که نه تنها در برخی فرآیندها و کارخانه‌ها بلکه در کل شرکت یا زنجیره تامین اعمال می‌شود و تأیید تأثیرات مختلف آن در آینده امکان پذیر خواهد بود.

در این مقاله، فناوری‌های گذشته و حال مرتبط با تولید هوشمند شناسایی شده است؛ در حالی که آینده تولید هوشمند با جهات توسعه آن پیشنهاد شده است. این مقاله به‌طور خلاصه تکامل سیستم‌های تولید هوشمند، تعریف سیستم تولید هوشمند، اجزا و ابزارهای سیستم تولید هوشمند مولفه‌های

فهرست منابع

- [1] Davis, J.; Edgar, T.; Graybill, R.; Korambath, P.; Schott, B.; Swink, D.; Wang, J.; Weeee J. "Smart manufacturing,, Ann. Rev. Chem. Biomol. Eng., Vol. 6, pp. 141–160, 2015.
- [2] Smart Manufacturing Leadership Coalition, <https://smartmanufacturingcoalition.org/>. Accessed 30 May, 2016.
- [3] Lu, Y.; Morris, K.C.; Frechette, S.P.; "Standards landscape and directions for smart manufacturing systems,, IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Gothenburg, 2015.
- [4] Lu, Y.; Morris, K. C.; Frechette, S. P.; "Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems", NISTIR 8107, 2016.
- [5] Kang, H. S.; Lee, J. Y.; Choi, S.; et al.; "Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions,, Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech., Vol. 3, pp. 111–128, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>.
- [6] Kusiak, A.; "Smart manufacturing,, Int J Prod Res, Vol. 56, Issue 1-2, pp. 508–517, 2018.
- [7] Qu, Y. J.; Ming, X. G.; Liu, Z. W.; et al.; "Smart manufacturing systems: state of the art and future trends,, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 103, pp. 3751–3768, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03754-7>.
- [8] Coalition SML Implementing; 21st century smart manufacturing report, SMLC, 2011.
- [9] Lee, J.; Lapira, E.; Bagheri, B.; Kao, H. A.; "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment,, Manuf. Lett., Vol. 1, Issue 1, pp. 38–41, 2013.
- [10] Delaram, J.; Fatahi, V.; "An architectural view to computer integrated manufacturing systems based on Axiomatic Design Theory,, Comput. Ind., Vol. 100, pp. 96–114, 2018.
- [11] Choi, S.; Kim, B. H.; "Do Noh SA diagnosis and evaluation method for strategic planning and systematic design of a virtual factory in smart manufacturing systems, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, Issue 6, pp. 1107–1115, 2015.
- [12] Rachuri, S.; *Smart manufacturing systems design and analysis*, National Institute of Standards and Technology, 2015.
- [13] Kühnle, H.; Bitsch, G.; *Smart manufacturing units*, Kühnle, H., Bitsch, G.(eds.), Foundations and Principles of Distributed Manufacturing, pp. 55–70.
- [14] Smart Process Manufacturing Engineering Virtual Organization Steering Committee; *Smart Process Manufacturing: An Operations and Technology Roadmap*, 2009.
- [15] Park, J.; Lee, J.; "Presentation on Korea smart factory program,, 12th International Conference on Advances in Production Management Systems, Accessed 8 Sept 2015.
- [16] Teramoto, K.; Wu, D.; Ota, K.; et al.; "A framework of accuracy assured machining for smart manufacturing,, Mem. Muroran. Inst. Tech., Vol. 65, pp. 35–39, 2016.
- [17] Jung, K.; Morris, K.; Lyons, KW.; et al.; *Performance challenges identification method for smart manufacturing systems*, Report No. 8108, 27 November, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2015.
- [18] Park, HS; Tran, NH; "Autonomy for smart manufacturing,, J Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 31, pp. 287–295, 2014.
- [19] Rathinasabapathy, R.; Elsass, M. J.; Josephson, JR; et al.; "A smart manufacturing methodology for real time chemical process diagnosis using causal link assessment,, CCh Journ,, Vol. 62, pp. 3420–3431, 2016.
- [20] Kibira, D.; Morris, K.; Kumaraguru, S.; "Methods and tools for performance assurance of smart manufacturing systems,, J. Nat. Inst. Stand. Technol., 2015.
- [21] Kang, H. S.; Lee, J. Y.; Choi, S.; Kim, H.; Park, J. H.; Son, J. Y.; Do Noh, S.; "Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions,, Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol., Vol. 3, pp. 111–128, 2016.
- [22] Shin, S. J.; Woo, J.; Rachuri, S.; "Predictive analytics model for power consumption in manufacturing,, Procedia, Vol. 15, pp. 153–158, CIRP2014.
- [23] Shao, G.; Shin, S. J.; Jain, S.; "Data analytics using simulation for smart manufacturing,, Proceedings of the winter simulation conference, Savannah, GA, pp. 2192–2203. New York: IEEE, 7 December 2014.
- [24] Schabus, S.; Scholz, J.; "Geographic Information Science and technology as key approach to unveil the potential of Industry 4.0: how location and time can support smart manufacturing,, Proceedings of the 12th international conference on informatics in control, automation and robotics, Colmar, pp.463–470, New York: IEEE, 21 July 2015.
- [25] Kusiak, A.; "Smart manufacturing,, Int. J. Prod. Res., Vol. 14, pp. 1–10, 2017.
- [26] Choi, S.; Kim, B. H.; Do Noh, S.; "A diagnosis and evaluation method for strategic planning and systematic design of a virtual factory in smart manufacturing systems,, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 16, pp. 1107–1115, 2015.

- [27] Lee, I.; Lee, K.; “*The Internet of Things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises*,” Bus Horizons, Vol. 58, pp. 431–440, 2015.
- [28] Sinha, S.; “*Advanced/smart manufacturing: from nanoscale to megascale*,” IEEE Potentials, Vol. 35, pp. 7–8, 2016.
- [29] Lu, Y.; Morris, K. C.; Frechette, S.; “*Standards landscape and directions for smart manufacturing systems*,” Proceedings of the IEEE international conference on automation science and engineering, Gothenburg, pp. 998–1005, New York: IEEE, 24 August 2015.
- [30] Park, J.; Lee, J.; “*Presentation on Korea smart factory program*,” Proceedings of the international conference on advances in production management systems, Tokyo, Japan, 5–9 September 2015.
- [31] Bostelman R, Falco J, Shah M, et al. Dynamic metrology performance measurement of a six degrees-of-freedom tracking system used in smart manufacturing. In: Proceedings of the Autonomous industrial vehicles: from the laboratory to the factory floor, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.
https://www.astm.org/DIGI_TAL_LIBRARY/STP/PAGES/STP159420150056.htm. DOI: 10.1520/STP159420150056.
- [32] Shafiq, S. I.; Sanin, C.; Szczerbicki, E.; et al.; “Decisional DNA based conceptual framework for smart manufacturing,” Proceedings of the international conference on information systems architecture and technology, Karpacz, pp. 79–88, 20–22 September 2015.
- [33] Esmaeilian, B.; Behdad, S.; Wang, B.; “*The evolution and future of manufacturing: a review*,” J Manuf Syst, Vol.39, pp. 79–100, 2016,
- [34] “*Manufacturing Systems*,” B.I.T. ee sr., by rr .uurndrr uu mrr .
- [35] Kusiak, A.; “*Put Innovation Science at the Heart of Discovery*”, Nature, Vol. 530, Issue 7590, pp. 255–255, 2016a.
- [36] Kusiak, A.; “*Smart Manufacturing Must Embrace Big Data*”, Nature, Vol. 544, Issue 7648, pp. 23–25, 2017b.
- [37] M., Sameer; K., Ahmad; R., David; W., Thorsten; “*Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors*”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture, January 2019, DOI: 10.1177/0954405417736547.
- [38] Kusiak, A.; “*Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective*”, Annual Reviews in Control, Vol. 47, pp. 214-220, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.02.001>.
- [39] NIST; Smart Manufacturing. <https://www.nist.gov/topics/smart-manufacturing>. Radhakrishnan, S.; Harris, B.; Kamarthi, S.; Supply chain resiliency: A re-view. In Y. Khojasteh (Ed.), Supply chain risk management, pp. 215–235, 2018,
- [40] F., Tao; Q, Qi; A., Liu; A., Kusiak “*Data-driven smart manufacturing*”, Journal of *Manufacturing Systems*, Vol. 48, Part C, pp. 157-169, July 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>.
- [41] K., Takahashi; Y., Ogata; Y., Nonaka; “*A Proposal of Unified Reference Model for Smart Manufacturing*,” 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering(CASE) Xi'an, China, August 20-23, 2017.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی

